

AP20 Rec'd PCT/PTO 27 JUN 2006

## **Verfahren und Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit**

### **Fachgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit, bei dem in einem Kreisprozess ein Arbeitsmedium unter Abgabe von Wärme verdichtet wird, danach über einen ersten Wärmetauscher in thermischen Kontakt mit der Umgebung gebracht wird, danach unter Gewinnung mechanischer Arbeit entspannt wird, worauf der Kreisprozess erneut durchlaufen wird.

### **Stand der Technik**

Es sind verschiedene Arbeitsverfahren bekannt, um Wärmeenergie in mechanische Arbeit umzuwandeln. Üblicherweise wird bei solchen Kreisprozessen ein Arbeitsmedium verdichtet, erwärmt, im erwärmten Zustand entspannt, abgekühlt, worauf der Kreisprozess von vorne beginnt. Voraussetzung für solche Kreisprozesse ist, dass zwei unterschiedliche Temperaturniveaus zur Verfügung stehen, die zum Erwärmen bzw. Abkühlen des Arbeitsmediums herangezogen werden. Im Allgemeinen wird dabei eine bestimmte Temperatur als Umgebungstemperatur definiert, und zwar ist das die Temperatur eines Mediums, das im Prinzip unbegrenzt und kostenfrei zur Verfügung steht. Dies kann beispielsweise die Lufttemperatur der Umgebung sein oder die Temperatur eines Gewässers, aus dem Wasser zu Zwecken des Temperatúraustauschs in ausreichender Menge entnommen werden kann.

Es sind bisher keine Kreisprozesse bekannt, mit denen es möglich ist, mechanische Arbeit aus Wärmeenergie zu gewinnen, ohne über ein Wärmeträgermedium zu verfügen, dessen Temperatur sich wesentlich von der Umgebungstemperatur unterscheidet. Nach bisheriger Auffassung ist ein solcher Kreisprozess durch den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre ausgeschlossen. In einer präziseren Fassung des zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre wird ausgesagt, dass der Wirkungsgrad jeglichen Kreisprozesses zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Arbeit den sogenannten Carnot-Wirkungsgrad nicht übersteigen kann, der sich aus dem Verhältnis der zur Verfügung stehenden Temperaturniveaus berechnet. Real existierende Verfahren und Vorrichtungen sind jedoch im Allgemeinen auch vom Carnot-Wirkungsgrad weit entfernt.

Es sind Vorrichtungen zur Erzeugung von Temperaturdifferenzen bekannt, die gasdynamische Effekte benutzen, die bei hohen Beschleunigungen auftreten, um

Temperaturdifferenzen herzustellen. Diese Vorrichtungen sind jedoch nicht geeignet, um Kreisprozesse zur Gewinnung von mechanischer Arbeit durchzuführen.

Die DE 38 12 928 A zeigt eine Vorrichtung, die versucht, die obigen Nachteile zu überwinden. Jedoch auch mit einer solchen Vorrichtung ist keine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrads möglich.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der oben beschriebenen Art anzugeben, das es ermöglicht, mechanische Arbeit aus thermischer Energie mit einem größtmöglichen Wirkungsgrad zu gewinnen.

Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, eine Vorrichtung anzugeben, mit der die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich ist.

### **Kurzbeschreibung der Erfindung**

Erfindungsgemäß ist dieses Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass das Arbeitsmedium nach der Entspannung durch einen weiteren Wärmetauscher geführt wird, der im Inneren eines schnell rotierenden Rotors angeordnet ist und der an seiner Außenseite von mindestens einem im Wesentlichen ringförmigen Gasraum umgeben ist, an dessen Außenseite Wärme abgeführt wird.

Der Erfinder der vorliegenden Erfindung hat erkannt, dass unter Einbeziehung der statistischen Gastheorie in Zusammenhang mit der Berücksichtigung der auf die Gasmoleküle oder Atome wirkenden Schwerkraft bzw. der Beschleunigung die Darstellung von Kreisprozessen möglich ist, die einen besonders hohen Wirkungsgrad aufweisen. Problematisch in diesem Zusammenhang ist jedoch, dass die durch die Schwerkraft hervorgerufenen Effekte sehr klein sind, wodurch die technische Umsetzung sehr schwierig ist. Durch den erfindungsgemäßen Kreisprozess kann die Nutzung von Wärmeenergie zur Erzeugung von mechanischer Arbeit unter wirtschaftlich vertretbaren Rahmenbedingungen erreicht werden. Eine wesentliche Voraussetzung für das erfindungsgemäße Verfahren ist die Erzielung höchster Beschleunigungen durch einen schnell laufenden Rotor, wobei die erzielten Beschleunigungswerte so hoch als möglich gewählt werden.

Besonders bevorzugt ist es, wenn das Arbeitsmedium stromabwärts des Rotors durch einen Verdichter geführt wird. Die im Verdichter hervorgerufene Erwärmung ist jedenfalls so gering, dass das im Rotor abgekühlte Arbeitsmedium unterhalb der Umgebungstemperatur verbleibt. Dadurch ist gewährleistet, dass das Arbeitsmedium im ersten Wärmetauscher Umgebungswärme aufnimmt.

In einer besonders begünstigten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass das Arbeitsmedium im Wesentlichen in Axial-

richtung durch den Rotor geführt wird. Auf diese Weise können die Auswirkungen der hohen Beschleunigung im Inneren des Rotors auf die Druckverhältnisse im Arbeitsmedium weitgehend eliminiert werden.

Weiters betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Entnahme von Wärme bei Umgebungstemperatur mit einem Rotor, der einen im Wesentlichen in Axialrichtung durchströmbaren Wärmetauscher aufweist, der an seiner Außenseite von einer zylindrischen Wand begrenzt ist, an deren Außenseite mindestens ein im Wesentlichen ringförmiger Gasraum vorgesehen ist.

Erfindungsgemäß ist diese Vorrichtung dadurch gekennzeichnet, dass der Wärmetauscher im Wesentlichen ringzylindrisch ausgebildet ist und dass der Gasraum in Radialrichtung in mehrere ringzylindrische Teilräume unterteilt ist. Diese Teilräume können in Radialrichtung die gleich Abmessung aufweisen, aber auch unterschiedlich ausgebildet sein. Erst durch die beschriebene Ausbildung des Rotors ist es möglich, in technischer und ökonomisch sinnvoller Weise einen Kreisprozess der oben beschriebenen Art zu realisieren.

Prinzipiell ist es möglich, dass in den einzelnen Teilräumen jeweils das gleiche Gas vorliegt. In einem solchen Fall ist im Allgemeinen der Druck an der Außenseite eines Teilraums größer als der Druck an der Innenseite des außen an diesen Teilraum anschließenden weiteren Teilraums. Das heißt, dass zwar innerhalb der einzelnen Teilräume der Druck durch die Zentripetal-Beschleunigung von Innen nach Außen zunimmt, diese Zunahme aber an den Grenzen der einzelnen Teilräume unterbrochen ist. Daraus resultiert eine mechanische Belastung der Trennwände zwischen den einzelnen Teilräumen, die jedoch technisch beherrschbar ist, da die resultierende Druckkraft nach Außen wirkt und daher die Trennwände nicht auf Beulung belastet sind. In bevorzugter Weise sind jedoch in den einzelnen Teilräumen unterschiedliche Gase aufgenommen, die insbesondere unterschiedliche kritische Temperaturen und Drücke aufweisen. Auf diese Weise kann erreicht werden, dass die Druckbelastung der Trennwände minimiert wird, da im Gleichgewichtszustand innen und außen im Wesentlichen der gleiche Druck anliegt. Es liegt auch im Bereich der vorliegenden Erfindung, dass anstelle reiner Gase Gasgemische eingesetzt werden, die im Betrieb der Vorrichtung Konzentrationsgradienten ausbilden.

Aufgrund der extrem schnellen Rotation des Rotors unterscheiden sich die im Inneren des Rotors vorliegenden Drücke im Ruhezustand wesentlich von denen im Betriebszustand. Um die Belastung der Trennwände und der anderen Bauteile zu minimieren, ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung eine Drucksteuerungseinrichtung vorgesehen, die mit den ringzylindrischen Teilräumen in Verbindung steht, um den Innendruck einzustellen. Beson-

ders bevorzugter Weise sind die Ringzylindrischen Teilräume durch dünnwandige zylindrische Trennwände voneinander getrennt. Auf diese Weise können die mechanischen Belastungen der einzelnen Bauteile minimiert werden.

### **Kurzbeschreibung der Figuren**

In der Folge die vorliegende Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;
- Fig. 2 einen Rotor der Vorrichtung von Fig. 1 im vergrößerten Maßstab;
- Fig. 3 einen Schnitt nach Linie III-III in Fig. 2;
- Fig. 4 ein Diagramm, das den Temperaturverlauf in Radialrichtung des Rotors darstellt; und
- Fig. 5 ein Ts-Diagramm, das den Kreisprozess erklärt.

### **Detaillierte Beschreibung der bevorzugten Ausführungsvarianten**

Die Vorrichtung von Fig. 1 besteht aus einer Turbine 11 zur Expansion des Arbeitsmediums, die in zwei Abschnitte 11a, 11b unterteilt ist. Im ersten Abschnitt 11a ist ein Wärmetauscher 11c vorgesehen, um eine isotherme Expansion zu ermöglichen. Grundsätzlich ist es dabei möglich, mehrere Turbinenstufen vorzusehen, in denen das Arbeitsmedium adiabat entspannt wird und die Wärmetauscher zwischen den einzelnen Turbinenstufen vorzusehen, wodurch nur eine näherungsweise isotherme Entspannung erreicht wird. Sofern der Wärmetauscher 11c in der Turbine 11 selbst vorgesehen ist, kann tatsächlich eine weitgehende isotherme Entspannung erreicht werden. Im zweiten Abschnitt 11b der Turbine 11 erfolgt eine adiabate Entspannung. Daher liegt das Kühlmedium am Ausgang der Turbine 11 mit einer Temperatur vor, die unter der Umgebungstemperatur liegt.

Von der Turbine 11 wird ein Generator 12 angetrieben und gleichzeitig wird ein Rotor 13 einer Zentrifuge angetrieben, die von dem Arbeitsmedium in Axialrichtung durchströmt wird. In einer Turbine 14 erfolgt eine Verdichtung, worauf das Arbeitsmedium über eine Rückführleitung 15 wieder zu der Turbine 11 rückgeführt wird.

Der Rotor 13 besitzt einen ringzylindrischen Wärmetauscher 18 und mehrere Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d, die ebenfalls ringzylindrisch ausgebildet sind und außerhalb des Wärmetauschers 18 liegen. Es ist anzumerken, dass die Abmes-

sungen des Wärmetauschers 18 und der Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d in Radialrichtung in Fig. 1 übertrieben dargestellt sind, denn bei realen Ausführungen sind diese Abmessungen sehr klein, und der Wärmetauscher 18 und die Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d liegen in der Nähe des äußeren Mantels des Rotors 13. An seiner Außenseite ist der Rotor 13 mit Kühlrippen 19 ausgestattet, die einen Wärmetauscher zur Abfuhr von Wärme darstellen. Dies ist durch die Pfeile 20 angedeutet.

In bevorzugter Weise sind die Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d mit unterschiedlichen Gasen gefüllt, wobei der innerste Gasraum 17a beispielsweise mit Helium gefüllt ist, der daran anschließende Gasraum 17b mit Xenon, der dritte Gasraum 17c mit Stickstoff oder einem passenden Kohlenwasserstoff und der äußerste Gasraum 17d mit einem passenden Kältemittel. Durch die schnelle Rotation des Rotors 13 wird in den Gasräumen 17a, 17b, 17c, 17d ein Temperaturgefälle von außen nach innen hervorgerufen, die das Arbeitsmedium im Wärmetauscher 17 stark abkühlt.

In dem Wärmetauscher 16 wird Wärme auf dem Temperaturniveau der Umgebung zugeführt, was durch die Pfeile 21 angedeutet ist. Eine Erhöhung des Wirkungsgrades kann erzielt werden, wenn die Abwärme des Rotors 13 entsprechend den Pfeilen 20 ebenfalls dem Wärmetauscher 16 zugeführt wird.

In Fig. 2 ist der Rotor 13 in einer abgewandelten Ausführungsvariante detailliert dargestellt. Das Arbeitsmedium wird im Inneren einer hohlgebohrten ersten Welle 22, die in einem Lager 23 gelagert ist, zugeführt und über Verteilleitungen 24 radial zum Wärmetauscher 18 nach außen geführt. Im Inneren des Wärmetauschers 18 strömt das Arbeitsmedium in Axialrichtung zur gegenüberliegenden Seite des Rotors 13, um in weiteren Verteilleitungen 25 radial nach innen zu einer weiteren Welle 26 geführt zu werden, die in einem Lager 27 gelagert ist. Wie bei der vorigen Ausführungsvariante sind vier Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d radial ineinander vorgesehen. An der Außenseite ist ein Wärmetauscher 18 zur Abfuhr der Wärme angeordnet. Schematisch angedeutet ist ein Gehäuse 28, in dem der Rotor drehbar angeordnet ist, das in Umfangsrichtung eine Vielzahl von Magneten 29 aufweist. Die Magnete 29 dienen dazu bei hohen Drehzahlen die Lager 23 und 27 zu entlasten und sind mit nicht dargestellten Magneten an der Außenseite des Rotors 13 selbst in Wechselwirkung. Dabei ist die Polarität so gerichtet, dass sich die Magnete 29 und die Magnete am Rotor 13 abstoßen, wodurch eine nach innen gerichtete Kraft auf die Mantelfläche des Rotors 13 ausgeübt wird, die die hohen mechanischen Beanspruchungen aufgrund der Fliehkräfte deutlich verringert und höhere Drehzahlen ermöglicht. Im Inneren des Rotors 13 ist mindestens ein Gasbehälter 30 vorgesehen, der mit einem der Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d über nicht dargestellte Leitungen in Verbindung steht. Vor-

zugsweise jedoch besitzt der Ausgleichsbehälter 30 nicht dargestellte Unterbehälter die einzeln mit den einzelnen Gasräumen 17a, 17b, 17c, 17d verbunden sind. Auf diese Weise kann das mittlere Druckniveau in den Gasräumen 17a, 17b, 17c, 17d weitgehend unabhängig von der jeweiligen Drehzahl des Rotors 13 auf einem vorbestimmten Wert gehalten werden, so dass die mechanische Beanspruchung der Trennwände zwischen dem Wärmetauscher 18 und den Gasräumen 17a, 17b, 17c, 17d innerhalb vorbestimmter Grenzen bleibt.

In den folgenden Tabellen 1 bis 4 sind im Wege eines Ausführungsbeispiels die Zustandsgrößen des Gases bzw. der Gase in den einzelnen Gasräumen 17a, 17b, 17c, 17d angegeben, wobei sich die Tabelle 1 auf den innersten Gasraum 17a bezieht, Tabelle 2 auf den Gasraum 17b, Tabelle 3 auf den Gasraum 17c und Tabelle 4 auf den Gasraum 17d. Die linke Tabellenhälfte gibt dabei jeweils die Zustandsgrößen an der Außenwand des jeweiligen Gasraums 17a, 17b, 17c, 17d an, und die rechte Tabellenhälfte gibt dabei jeweils die Zustandsgrößen an der Innenwand des jeweiligen Gasraums 17a, 17b, 17c, 17d an.

In den Tabellen 1 bis 4 bedeuten:

- T Temperatur in K
- d Dichte in  $\text{kg/m}^3$
- p Druck in MPa
- s Entropie in  $\text{kJ/kgK}$
- u innere Energie in  $\text{kJ/kg}$
- h Enthalpie in  $\text{kJ/kg}$

**Tabelle 1**

T	276,32	T	121,51
d	174,43	d	28,62
p	14,33	p	0,91
s	5,18	s	5,18
u	173,15	u	81,95
h	255,33	h	114,07

**Tabelle 2**

T	424,17	T	276,32
d	129,39	d	50,25
p	17,61	p	4,07
s	5,62	s	5,62
u	294,47	u	195,45
h	430,58	h	276,45

**Tabelle 3**

T	579,04	T	424,17
d	94,29	d	45,76
p	17,54	p	5,88
s	5,98	s	5,98
u	419,52	u	307,62
h	605,58	h	436,27

**Tabelle 4**

T	739,98	T	579,04
d	77,64	d	42,67
p	18,39	p	7,54
s	6,24	s	6,24
u	550,60	u	426,66
h	787,48	h	604,32

Fig. 3 zeigt schematisch einen Schnitt nach Linie III – III in Fig. 2, wobei zur Erhöhung der Übersichtlichkeit der Wärmetauscher 18 und die Kühlrippen 19 weggelassen sind. Pfeile 20 symbolisieren dem Wärmestrom.

In Fig. 4 ist ein Diagramm dargestellt, das schematisch die Temperaturverteilung in Radialrichtung des Rotors 13 angibt, die durch  $r$  angegeben ist. Die Kurve  $K_1$  stellt die Temperatur  $T$  im Leerlaufzustand dar, d.h. dann, wenn kein Wärmestrom auftritt, was der Fall ist, wenn der Rotor 13 innen und außen isoliert ist. Die Kurve  $K_2$  stellt die Temperatur  $T$  im Betrieb dar, d.h. dann, wenn ein Wärmestrom in Radialrichtung vorliegt.

Fig. 5 zeigt ein idealisiertes T-s – Diagramm, bei dem die Temperatur über der Entropie aufgetragen ist. Der Kreisprozess wird in der Richtung der Pfeile 31 durchlaufen. Mit dem Doppelpfeil 32 ist die Temperaturdifferenz der Zentrifuge, d.h. des Rotors 13 über die Gasräume 17a, 17b, 17c, 17d dargestellt. Bedingt durch die Verluste beim Wärmeübergang ist die tatsächlich im Kreisprozess nutzbare Temperaturdifferenz 33 deutlich geringer. Die Zustände 1, 2, 3, 4 in dem Diagramm entsprechen den Zuständen an den analog bezeichneten Punkten in Fig. 1. Es ist beispielsweise anzumerken, dass bei einem einphasigen Arbeitsmedium die Zustandsänderungen 1 -> 2 und 3-> 4 nicht genau isotherm sind.

Die Tabelle 5 gibt die Zustandsgrößen in den einzelnen Punkten unter idealisierten Annahmen an.

Tabelle 5

[K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[MPa]	[kJ/kgK]	kJ/kg	kJ/kg
T	d	p	s	u	h

Punkt 1	130	15	0,54937258	5,44088686	92,1986033	128,823442
Punkt 2	130	70	2,10257662	4,92707388	77,8876766	107,924486
Punkt 3	283	316,5007	30,2486572	4,92707388	153,810311	249,382476
Punkt 4	283	92,150807	7,66041346	5,44088686	192,911843	276,040941

Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, eine Vorrichtung und einen Kreisprozess zu realisieren, die Wirkungsgrade aufweisen, die wesentlich über denen herkömmlicher Lösungen liegen.



### PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit, bei dem in einem Kreisprozess ein Arbeitsmedium unter Abgabe von Wärme verdichtet wird, danach über einen ersten Wärmetauscher (16) in thermischen Kontakt mit der Umgebung gebracht wird, danach unter Gewinnung mechanischer Arbeit entspannt wird, worauf der Kreisprozess erneut durchlaufen wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmedium nach der Entspannung durch einen weiteren Wärmetauscher (18) geführt wird, der im Inneren eines schnell rotierenden Rotors (13) angeordnet ist und der an seiner Außenseite von mindestens einem im Wesentlichen ringförmigen Gasraum (17a, 17b, 17c, 17d) umgeben ist, an dessen Außenseite Wärme abgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmedium stromabwärts des Rotors (13) durch einen Verdichter geführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmedium im ersten Wärmetauscher (16) Umgebungswärme aufnimmt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Arbeitsmedium im Wesentlichen in Axialrichtung durch den Rotor (13) geführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rotor (13) eine Temperaturdifferenz von mindestens 100 K, vorzugsweise von mindestens 300 K und besonders vorzugsweise von mindestens 500 K aufgebaut wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Außenseite des Rotors (13) Wärme über Kühlrippen abgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Außenseite des Rotors (13) Wärme über einen dritten Wärmetauscher (19) abgeführt wird.
8. Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit, mit einem Rotor (13), der einen im Wesentlichen in Axialrichtung durchströmbaren Wärmetauscher (18) aufweist, der an seiner Außenseite von einer zylindri-

schen Wand begrenzt ist, an deren Außenseite mindestens ein im Wesentlichen ringförmiger Gasraum (17a, 17b, 17c, 17d) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wärmetauscher (18) im Wesentlichen ringzylindrisch ausgebildet ist, und dass der Gasraum (17a, 17b, 17c, 17d) in Radialrichtung in mehrere ringzylindrische Teilräume (17a, 17b, 17c, 17d) unterteilt ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in den einzelnen Teilräumen (17a, 17b, 17c, 17d) unterschiedliche Gase aufgenommen sind.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Drucksteuerungseinrichtung vorgesehen ist, die mit den ringzylindrischen Teilräumen (17a, 17b, 17c, 17d) in Verbindung steht, um den Innendruck einzustellen.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drucksteuerungseinrichtung im Bereich der Achse des Rotors (13) vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ringzylindrischen Teilräume (17a, 17b, 17c, 17d) durch dünnwandige zylindrische Trennwände voneinander getrennt sind.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zuleitung und die Ableitung des Arbeitsmediums durch die Achsen (22, 26) des Rotors (13) erfolgt.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Rotor (13) in einem Gehäuse (28) gelagert ist, das Magnete (29) aufweist, die eine nach innen gerichtete Magnetkraft auf den Rotorumfang ausüben.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gasraum (17a, 17b, 17c, 17d) in Radialrichtung in mindestens drei, vorzugsweise mindestens vier ringzylindrische Teilräume (17a, 17b, 17c, 17d) unterteilt ist.

2004 11 18

Ba

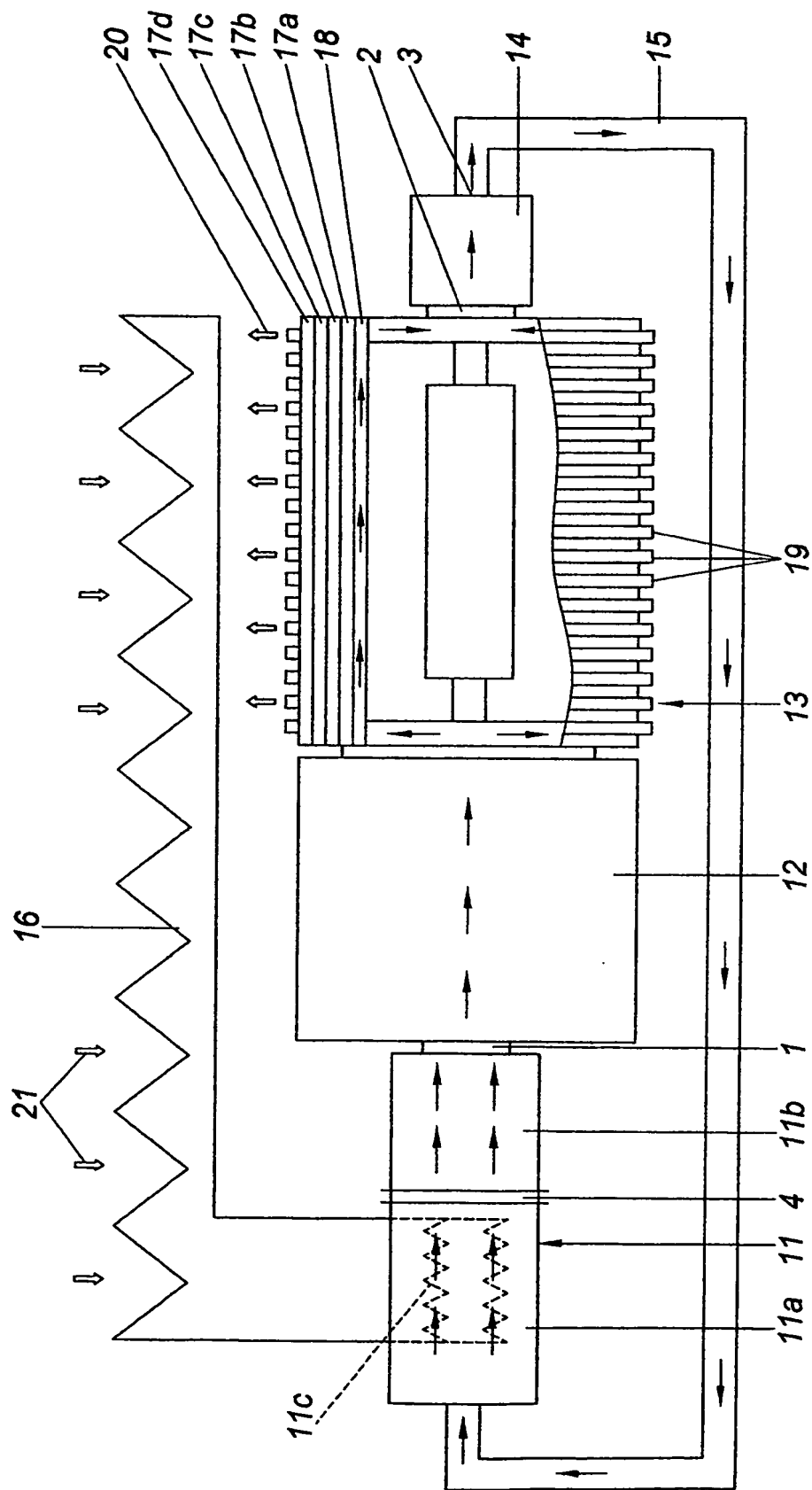


Fig. 1

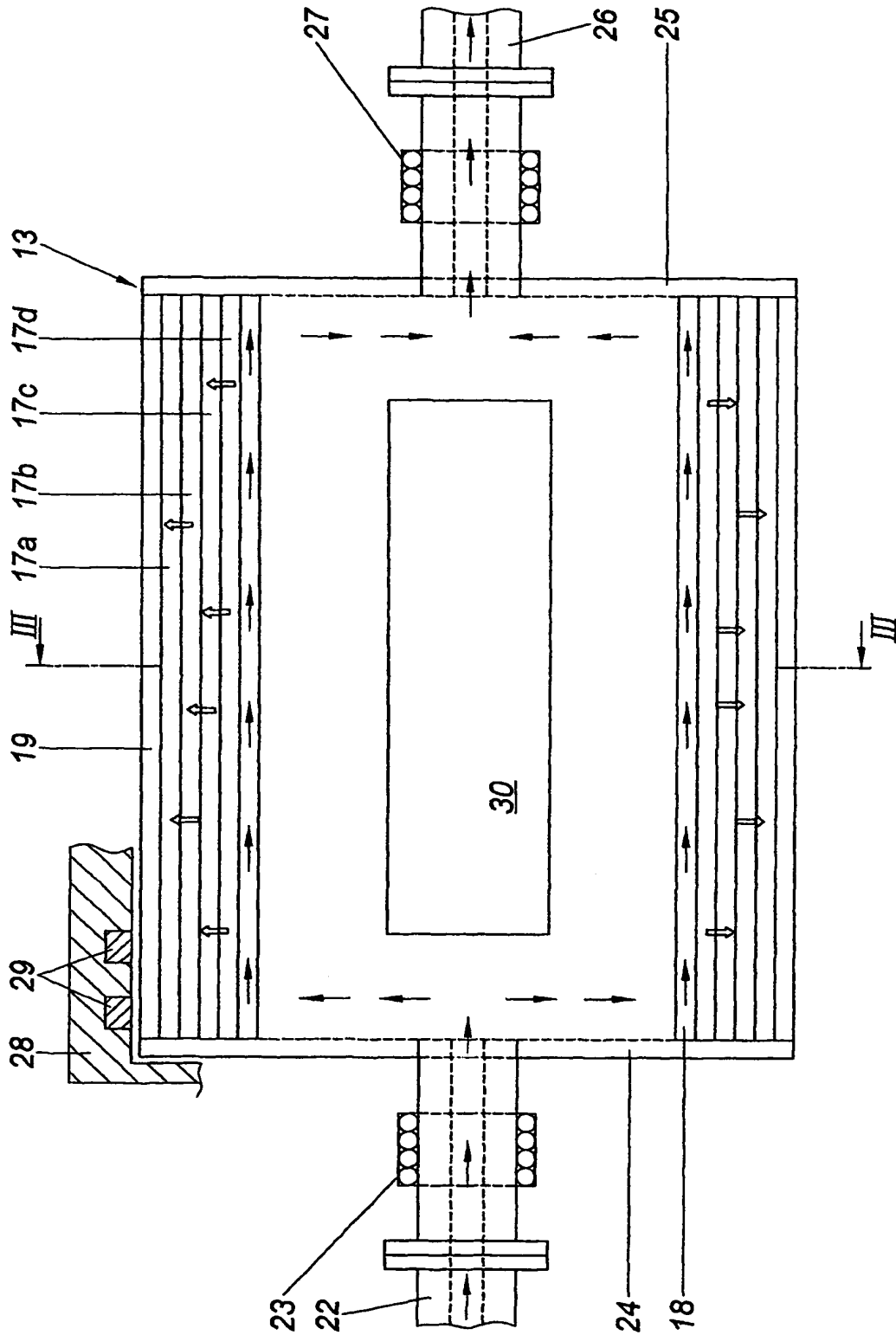


Fig. 2

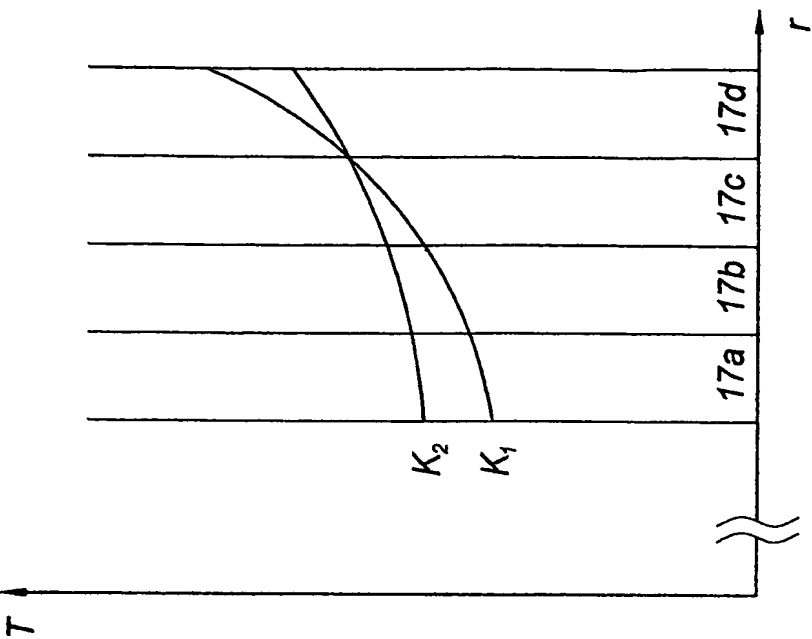


Fig. 4

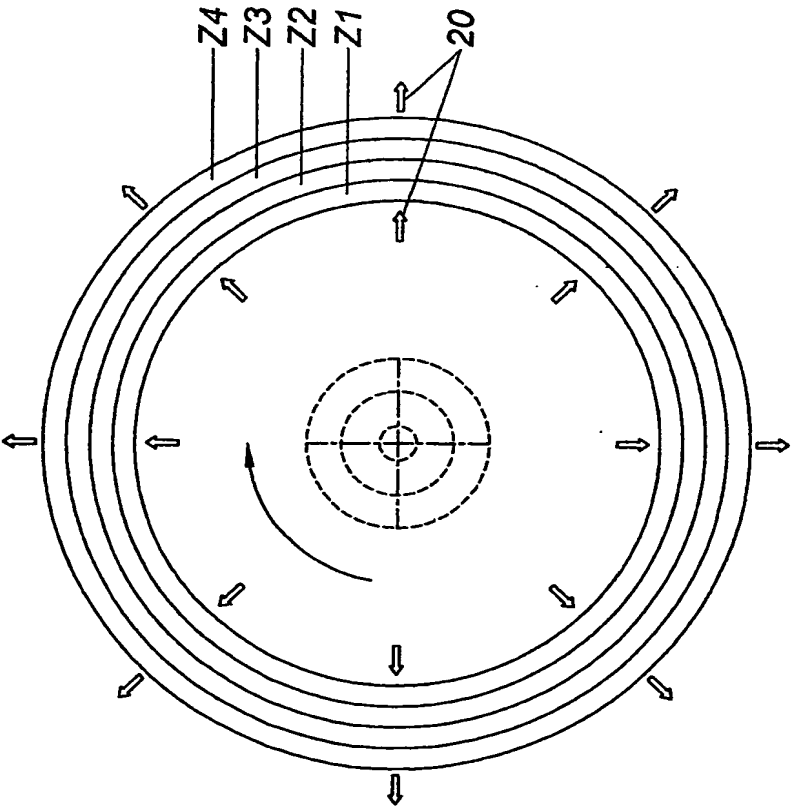


Fig. 3

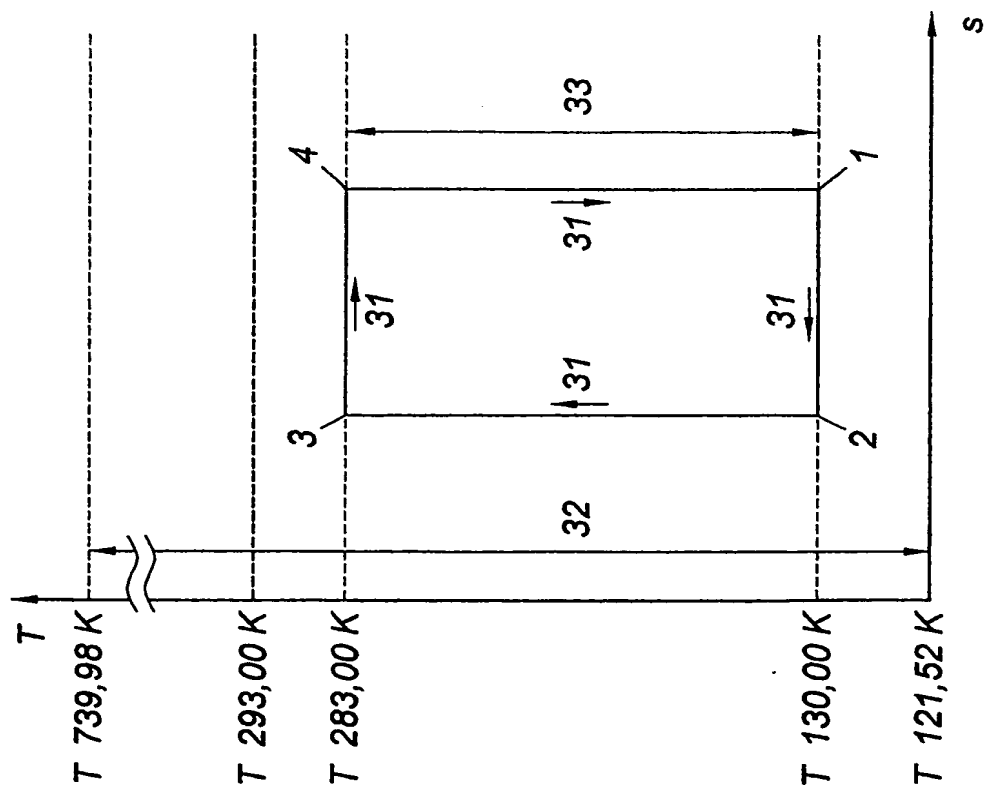


Fig. 5